

УДК 669.017

***Е. В. Лим, А. Е. Коняхин, Д. Д. Мельникова, Р. С. Федорцов***

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет),  
г. Москва

*\*faculty1@mail.ru*

Научные руководители: канд. техн. наук *Т. Г. Ягудин\**, канд. техн. наук *Ю. Н. Кусакина*

## ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОЗИЦИИ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

В работе рассмотрены современные принципы создания новых материалов и ряд актуальных трендов материаловедения. Предложен новый подход к комплексной оценке нового материала с позиции технологической готовности его производства и потенциала усовершенствования конструкций изделий, изготовленных из данного материала.

*Ключевые слова:* титановые сплавы, стали, стратегические направления развития материалов, потенциал применения нового материала в промышленности.

***E. V. Lim, A. E. Konyakhin, D. D. Melnikova, R. S. Fedortsov***

## ASSESSMENT OF THE POTENTIAL INDUSTRIAL APPLICATIONS OF NEW MATERIALS FROM THE PERSPECTIVE OF MATERIAL SCIENCE AND TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT

The article reviews modern principles of new materials development and the number of current trends in the material science. The new approach of complex estimation of new material is discussed as the problem of technological readiness for its production and as the problem of structural improvement of the product.

*Keywords:* titanium alloys, steels, strategic trends of the materials development, potential of industrial application of new material.

При разработке новых материалов специалисты уделяют основное внимание качеству материалов, которое складывается из следующих характеристик: технологичности, весовой эффективности (отношение прочности к удельному весу), надежности и ресурса, – определяющихся, в первую очередь, показателями выносливости, сопротивлением малоцикловой усталости (МЦУ), статической и циклической трещиностойкостью. К показателям качества материала относятся также ремонтоспособность и контролепригодность. Разработка новых материалов происходит с применением математического моделирования

---

© Лим Е. В., Коняхин А. Е., Мельникова Д. Д., Федорцов Р. С., 2016

химического и фазового состава, с использованием новых принципов легирования, например, наноструктурированными лигатурами высокопрочных конструкционных и коррозионно-стойких сталей. Одним из основных направлений разработки новых материалов является создание интеллектуальных материалов, предназначенных для умных или smart-конструкций. Данные материалы могут обладать следующими свойствами: памятью формы (восстановление первоначальной конфигурации детали после снятия нагрузки), способностью к самовосстановлению, например, восстановлению сплошности после образования трещины, способностью к обратимому изменению внутренней структуры материала в зависимости от условий эксплуатации. Самовосстанавливающиеся конструкции обладают лучшими эксплуатационными свойствами и более продолжительной работоспособностью по сравнению с обычными системами. Интеллектуальные материалы будут способны адаптироваться к различным механическим нагрузкам, смогут сигнализировать об изменении напряженно-деформированного состояния. Кроме того, smart-конструкции должны включать в себя элементы, изготовленные из определенных материалов, которые обеспечивают способности:

- изменять свойства всей конструкции в целом под действием внешних полей различной физической природы (электрических, магнитных, температурных и т. п.);
- оценивать данные о состоянии объекта и принимать решение о действии (посредством вычислительных методов, разработанных в рамках исследований таких конструкций);
- определять и выполнять правильное действие (на основе знаний или соответствующих законов управления) [1].

Для того чтобы новый материал нашел скорейшее применение на производстве, необходимо при его разработке проследить, каким образом данный материал будет соотноситься с существующими технологиями производства и оборудованием, требованиями конструкторов, то есть необходимо уже на этапе создания материала установить взаимосвязи материал – технология – конструкция – оборудование. Например, современные рабочие турбинные лопатки авиационного двигателя отливают на автоматизированных вакуумных плавильных комплексах, обеспечивающих получение монокристалла с высокой степенью структурного совершенства и заданной конструктором кристаллографической ориентацией, а точность изготовленной детали ( $\pm 0,05$ ) мм. Ранее данные изделия вытачивали из массивных заготовок и коэффициент использования материала был невелик, так как при этом производилось значительное количество металлической стружки [1]. На смену традиционной схеме технологического процесса «материал – заготовка – деталь» пришел новый процесс получения материала

с одновременным формированием детали, иными словами, произошло совмещение функций технологий и материаловедения и переход на новую схему «конструкция – материал – заготовка – технологический процесс – оборудование – деталь». Иллюстрацией данного подхода является получение требуемых свойств и структур в конкретных участках детали, то есть создание так называемой «тейлор»-структуры. При этом в различных частях детали по определенному «заказу» конструктора, в зависимости от возникающих напряжений, создаются различные структуры. Существует ряд способов получения различных типов структур и свойств в одной детали. Наиболее известными из них являются локальная термическая обработка, локальная деформация и ряд технологий порошковой металлургии, например, технология послойного наплавления порошков методами электронно-лучевой плавки и additive manufacturing – технологии сложения. По такой технологии, например, получают изделия из титановых сплавов Ti6Al4V, TiGrade2 [2]. В работе [1] сформулированы основные принципы создания современных материалов в рамках реализации стратегических направлений развития материалов и технологий до 2030 года, к ним относятся:

- «зеленые» технологии при создании материалов;
- реализация полного жизненного цикла с использованием IT-технологий – создание материала, эксплуатация конструкции, диагностика, ремонт, продление ресурса, утилизация;
- неразрывность материалов, технологий и конструкций (невозможно создать конструкцию без учета особенностей технологий и материалов).

Таким образом, принципы создания современных материалов и технологического развития во многом дополняют друг друга. Однако необходимо уже на этапе создания нового материала в ходе научного исследования прогнозировать, каким образом данный материал будет произведен в условиях промышленного производства и потребует ли для его производства разрабатывать принципиально новые технологические процессы. Наряду с механическими и эксплуатационными характеристиками, следует обращать большее внимание на экономические показатели нового материала (стоимость, коэффициент использования материалов, энергоемкость, трудоемкость и др.). В данной работе предлагается с позиции технологического развития провести комплексную оценку перспективности применения материала в промышленности.

В таблице приводится оценка по предложенной методике новой хромомарганцевой стали марки 08-12X15Г9НД, имеющей следующие минимальные (гарантированные) свойства (горячекатаный круг) – предел прочности 600 МПа, предел текучести 300 МПа, относительное удлинение 40 %. Данная сталь является одним из перспективных материалов машиностроения. Она хорошо обрабатывается в холодном состоянии, имеет высокую прочность и пластичность при вытяжке, изгибе,

штамповке, высадке. Пониженное содержание углерода обеспечивает хорошую свариваемость любыми способами в любых условиях.

**Характеристики, позволяющие оценить потенциал промышленного применения новой хромомарганцевой стали марки 08-12Х15Г9НД**

Характеристика	Оценка характеристики
Возможность создания новых конструкций из данного материала	Материал позволяет создавать новые конструкции, например, возможно изготовление нержавеющей арматуры, кроме того, возможно создание узлов, подвергающихся интенсивному износу для работы в диапазоне температур от минус 40°С до 750–800 °С
Потребность в создании нового технологического оборудования для производства нового материала и изделий из него	Отсутствует потребность в создании нового технологического оборудования, свариваемость любыми способами в любых условиях. Сталь хорошо обрабатывается в холодном состоянии, демонстрирует высокую прочность и пластичность при вытяжке, изгибе, штамповке, высадке
Соответствие нового материала и технологии его производства общемировому технологическому тренду отрасли	Соответствует тренду использования нержавеющей материалов со специальными свойствами вместо высоко- и среднелегированных сталей стандартного машиностроительного сортамента
Снижение вредного воздействия на окружающую среду посредством уменьшения вредных выбросов при производстве и возможности безопасной утилизации	Значительно снижается вредное воздействие на окружающую среду, материал легко поддается утилизации и повторной переработке, эффекты достигаются за счет длительного срока службы изделий и традиционных технологий переработки
Комплекс экономических показателей нового материала (стоимость, коэффициент использования материалов, энергоемкость, трудоемкость и др.)	Обеспечивает экономию на толщине/диаметре изделия, цена на сталь 08-12Х15Г9НД значительно ниже, чем на сталь 12Х18Н10Т, за счет системы легирования, не содержащей дорогостоящих элементов (Mo, V, W, Ti)

В условиях оценки потенциала коммерциализации разработанный материал оценивается методом экспертной оценки с присвоением баллов, для каждой характеристики можно вводить весовые коэффициенты. Для проверки степени субъективности экспертных оценок необходимо использовать такие статистические методы, как проверка коэффициента корреляции рангов по методу Спирмена и проверка коэффициента согласованности. Для объективной оценки нового материала рекомендуется составить таблицу оценочных характеристик не только для

нового материала, но и для аналогичного материала, применяемого ранее, либо для другого перспективного материала того же назначения.

Анализ таблицы показывает целесообразность дальнейших разработок в области новых технологий производства изделий из стали 08-12Х15Г9НД. Существующие технологические мощности производственных предприятий готовы к применению данного материала для изготовления узлов и деталей, отличающихся высокой надежностью, длительным сроком службы и сочетанием высокой прочности и вязкости при достаточно низкой цене.

В заключение следует отметить, что современные предприятия, работающие в жесткой конкурентной среде, готовы будут принимать в производство лишь новые материалы, отличающиеся как высоким комплексом эксплуатационных и механических свойств, так и высоким потенциалом промышленной применимости, оценивать который возможно по предложенным в работе характеристикам.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е. Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 г.// Авиационные материалы и технологии. 2012. № 5. С. 7–17.
2. Полькин И. С., Никитин И. С., Бугаро Н. Г. Получение деталей из титана с «Тейлор»-структурой и свойствами // Титан. 2012. № 4(38). С. 37–41.